

15 минут до температуры 400 °С; естественное охлаждение в течение 15 минут в рабочей камере. Параллельно выполнен режим прессования. Спеченные образцы имели цилиндрическую форму с диаметром $1,5 \pm 0,02$ мм. Аналогично первому этапу работы были использованы смеси с одинаковыми составами на основе неактивированного и активированного микропорошка алюминия АСД-6М. Компонентный состав навесок смесей порошков для ГП с предварительным жидкофазным спеканием приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Состав смеси порошков HfB₂ и Al для горячего прессования с предварительным спеканием

№ п/п	HfB ₂ содержание, мас. %	Al АСД-6М содержание, мас. %	Al нанопорошок содержание, мас. %	Масса смеси, г.
1	90	10	–	20
2	80	20	–	20
3	90	–	10	20
4	80	–	20	20

Компонентный состав навесок смесей порошков для ГП с предварительным жидкофазным спеканием приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Состав смеси порошков HfB₂ и Al для горячего прессования без предварительного спекания

№ п/п	HfB ₂ содержание, мас. %	Al АСД-6М содержание, мас. %	Al нанопорошок содержание, мас. %	Масса смеси, г.
5	90	10	–	20
6	90	–	10	20

Была проанализирована плотность полученных образцов, а также измерена их твердость с использованием метода индентирования. В совокупности полученных данных, сделан вывод о том, что СВЧ-активирование порошка алюминия позволяет повысить механические свойства материала. Метод горячего прессования с предварительным жидкофазным спеканием позволил получить образцы с наиболее подходящими механическими характеристиками.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 19-03-00160.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мостовщиков А.В., Ильин А.П., Чумерин П.Ю. Влияние СВЧ-излучения на термическую стабильность нанопорошка алюминия // Письма в Журнал Технической Физики. – 2016. – Т. 42. – № 7. – С. 17–22.
2. Ильин А.П., Роот Л.О. Мостовщиков. А.В. Повышение запасенной энергии в нанопорошках металлов // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – № 8. – С. 140–142.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СИЛУМИНА АК12 УДП ВОЛЬФРАМА

Н.В. Мартюшев, В.С. Башев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: martjushev@tpu.ru

EFFECT OF SILUMIN MODIFICATION WITH ULTRADISPERSED TUNGSTEN POWDER

N.V. Martyshev, V.S. Bashev

National Research Tomsk Polytechnic University

Annotation. In this paper, the effect of introducing the ultradispersed W powder, which had been preliminary activated and wetted with Cu powder in planetary ball mill, in the amount of

0.01–0.5 wt. % on the structure, the phase state and the mechanical properties of the AK12 alloy was investigated. It was established that the optimum additive is 0.1 wt. % W+Cu, as far as it results in the uniform eutectic distribution (α -Al + Si), smaller plates of the eutectic Si, change in shape of coarse plates and improvement of mechanical properties. Further treatment with the ultradispersed W powder allows for reducing the amount of the deposited powder from 30 % to 6 %.

Распространение силуминов ограничено их невысокими механическими характеристиками. Это связано с тем, что силумин после кристаллизации обладает крупнокристаллической структурой. Фазовый состав такого силумина это α -Al твердый раствор, железосодержащие фазы и эвтектика (α -Al + Si). Широко распространенным методом повышения свойств силуминов является модифицирование мелкодисперсными частицами. Как правило это ультрадисперсные порошки тугоплавких металлов, например оксидов различных металлов (γ -Al₂O₃, ZrO₂, Al₂O₃, TiO₂, SrO) [1,2], редкоземельных элементов (Sr, Cr, Sm) [3,4], карбидов (TiCN) [5], боридов (Nb-B, Ti-B) а также углеродосодержащих материалов (BaCO₃, C). В данной работе исследуется влияние ультрадисперсного порошка W на структурно-фазовое состояние и механические свойства сплавов системы Al-Si. Актуальность данной работы обусловлена тем, что информации и экспериментальных данных о влиянии добавок модификаторов на основе W крайне мало.

В качестве исследуемого материала был выбран силумин марки АК 12 химического состава по ГОСТ 1583-93. Модифицирующей добавкой, добавляемой в образцы, являлся ультрадисперсный порошок вольфрама сферической формы со средним размером частиц порядка 250 нм и площадью удельной поверхности 1,7–2,4 м²/г (ТУ 1791-003-36280340-2008). Данный порошок перед модифицированием подвергался обработке в планетарной шаровой мельнице. В мельнице перемешивался порошок вольфрама и порошок меди ПМУ (ТУ-1793-011-50316079-2004) с чистотой не менее 99,999% также сферической формы со средним размером частиц 7 мкм. В результате такой предварительной обработки порошка происходило внедрение более мелких частиц вольфрама в поверхность меди, что обеспечивало лучшую смачиваемость модификатора при введении в расплав. Для полученных образцов производили металлографические исследования и механические испытания (определяли предел прочности при растяжении (σ_b) и ударную вязкость (КС)). Заливка расплава АК12 велась в разборный кокиль комнатной температуры. Температура заливки расплава составляла около 800°C.

Результаты проведенного эксперимента показали, что предварительное перемешивание порошка вольфрама с порошком меди в планетарной мельнице дает сокращение количества порошка, который выпадает в осадок с 30 % до 6 %. Внедрение модификатора с дополнительной обработкой оказывает существенное влияние на микроструктуру полученных отливок. Идет уменьшение длины осей 1-го порядка. Если для не модифицированных отливок их длина достигает значений 700–900 мкм, то после добавления модификатора значения падают до величины 170–190 мкм (рис. 1а, в). Анализ микроструктуры полученных отливок с различным количеством модификатора показывает, что наибольшее влияние на структуру оказывает концентрация добавки модификаторы на основе W+Cu в количестве 0,1 масс. %. При этом достигается уменьшение расстояния между осями 2-го порядка до 13–16 мкм и уменьшения пластин Si в эвтектике до ~5,7 мкм.

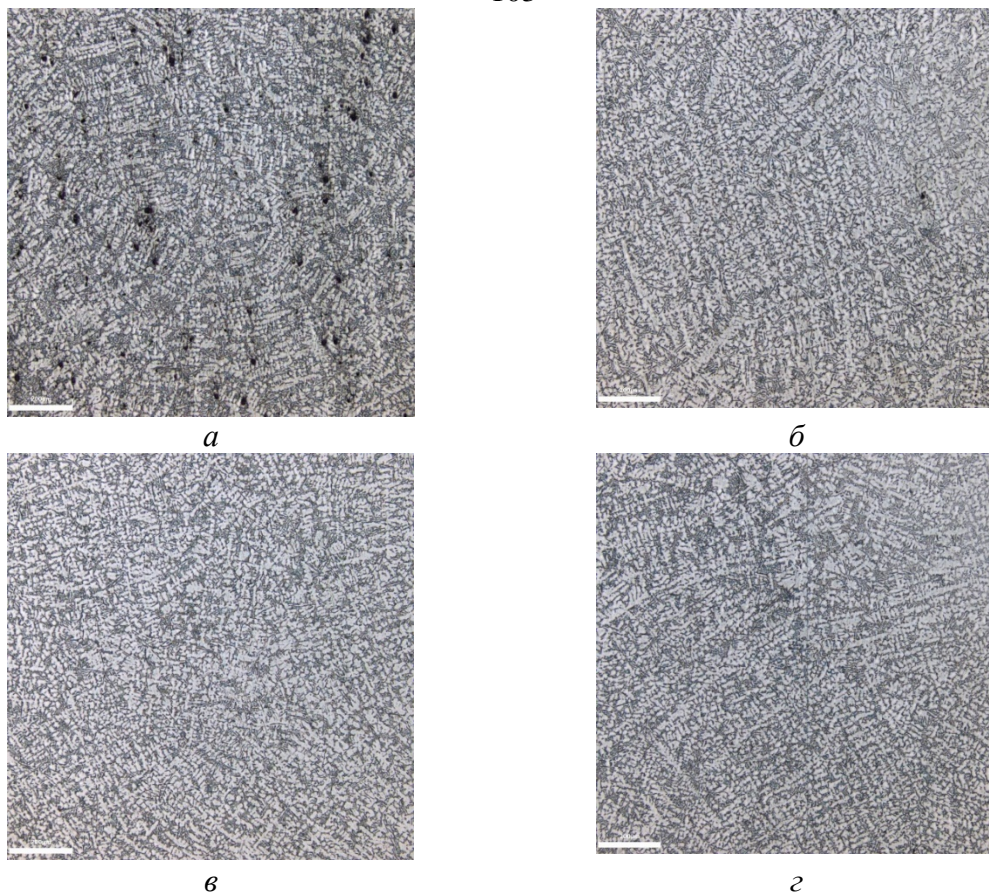


Рис. 1. Микроструктура силумина марки АК12 с различным содержанием $W+Cu$:
 а – 0,01 масс. % $W+Cu$; б – 0,05 масс. % $W+Cu$; в – 0,1 масс. % $W+Cu$; г – 0,5 масс. % $W+Cu$

Такие изменения в микроструктуре модифицированных отливок закономерно приводят и к изменениям в их механических свойствах. Измельчение хрупких и твердых пластин кремния, как правило приводит к росту ударной вязкости и прочности. Приведенные в таблице 1 данные показывают, что увеличение количества добавки модификатора до определенного значения приводит к росту механических свойств. Наиболее высокие значения предела прочности и ударной вязкости получаются при концентрации модификатора 0,1 масс. %. В этом случае достигаются следующие значения – ударная вязкость 18,4 Дж/м² и предел прочности 180 МПа. Это на ~ 20-25 % выше, чем в не модифицированных отливках. Такие данные хорошо согласуются с результатами проведенного металлографического анализа. При этом количестве добавленного при заливке модификатора (0,1 %) получается наиболее однородная структура с наиболее мелкими включениями фазовых составляющих (мелкие дендриты матрицы твердого раствора и мелкие пластины включений хрупкого кремния).

Таблица 1 – Показатели ударной вязкости и предела прочности бразцов сплава АК12

Концентрация модификатора $W+Cu$ в отливке, масс. %	Ударная вязкость, Дж/м ²	Предел прочности, МПа
0	15,6	146
0,01	16,4	155,4
0,05	15,9	163
0,1	18,4	180
0,5	17,9	175

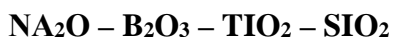
Проведенные экспериментальные работы показали, что дополнительная обработка модифицирующего нанопорошка W с порошком меди в планетарной шаровой мельнице благоприятно сказывается на усвоении модификатора расплавом. Более твердые и тугоплавкие частицы порошка W в результате такой обработки внедряются в частицы более крупного и мягкого порошка меди. При этом реакций между этими частицами не происходит. Так как при смешении порошков в шаровой мельнице использовалась защитная атмосфера и скорость вращения барабана (как следствие и сила соударения шаров) была не очень велика, количество возникающих окислов и гидридов было мало.

В результате отливки из силумина марки АК12, полученные при добавке 0,1 % масс. подготовленного таким образом модификатора, имеют наиболее высокие показатели механических свойств. Ударная вязкость и предел прочности у таких отливок в сравнении с не модифицированными отливками увеличивается на 20–25%. Металлографический анализ показывает, что такое количество модификатора так же наиболее благоприятно сказывается на микроструктуре отливок – происходит измельчение структуры (пластинчатых включений кремния, дендритов матрицы). Оптимальное воздействие с точки зрения свойств достигается при добавлении 0,1 масс. модификатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Qinglin Li, Tiandong Xia, Yefeng Lan, Wenjun Zhao, Lu Fan, Pengfei Li. Effect of in situ γ -Al₂O₃ particles on the microstructure of hypereutectic Al-20%Si alloy // Journal of alloys and compounds. – 2013. – no. 577. – P. 232–236.
2. Iman S. El-Mahallawi, Ahmed YehiaShash, AmerEid Amer. Nanoreinforced cast Al-Si alloys with Al₂O₃, TiO₂ and ZrO₂ nanoparticles // Metals. – 2015. – no.5. – P. 802–821.
3. CHEN Chong, LIU Zhong-xia, EN Bo, WANG Ming-Xing, WENG Yong-gang, LIU Zhi-yong. Influences of complex modification of P and RE on microstructure and mechanical properties of hypereutectic Al-20Si alloy // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. – 2007. – no. 17. – P. 301–306.
4. Li J.H., Wang X.D., Ludwig T.H., Tsunekawa Y., Arnberg L., Jiang J.Z. and Schumacher P. Modification of eutectic Si in Al-Si alloys with Eu addition // Acta Materialia. – 2015. – no.84. – P. 153–163.
5. Wang K., Jiang H.Y., Jia Y.W., Zhou H., Wang Q.D., Ye B., Ding W.J. Nanoparticle-inhibited growth of primary aluminum in Al-10Si alloys // Acta Materialia. – 2016. – no.103. – P. 252–263.

ХИМИЧЕСКИ СТОЙКОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ЭМАЛИ СИСТЕМЫ



В. Ю. Боровой, О.В. Казмина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: vyb5@tpu.ru

CHEMICALLY RESISTANT COATING BASED ON ENAMEL OF THE



V. Yu. Borovoy, O.V. Kazmina

National Research Tomsk Polytechnic University

Annotation. The composition of white porcelain enamel was developed, which has a set of specified properties, namely, high fluidity, high coefficient of thermal expansion, chemical resistance and whiteness. In contrast to the known enamels of the $\text{Na}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{SiO}_2$ system, the resulting enamel has an expansion coefficient of $110 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (known compositions $80\text{--}95 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) and chemical resistance corresponding to class A +. The developed composition includes zinc oxide (4 wt %), a higher content of K₂O (6 wt % K₂O) compared to